

# 声发射仪器的研究进展

刘时风 李光海

(清华大学机械工程系, 北京, 100084)

**摘要** 本文对声发射仪器的发展过程进行了简要的回顾,对当前主要的声发射仪器的研究进展做了初步的介绍,并展望了未来声发射仪器的软、硬件发展的方向。

**关键词** 声发射检测仪 硬件 软件 研究进展

## 1 引言

随着计算机软硬件技术的飞速发展,声发射(AE)检测系统的更新速度也越来越快,总的发展趋势是从模拟参数式向数字式全波形方向发展。多通道全波形声发射检测系统能给检测人员提供更多的关于声发射源的信息,更方便地从大量干扰信号中获取有意义的声发射信号,更精确地对声发射源进行定位;另一方面,人们从参数式仪器中获得了大量的现场经验,所以也不可能完全放弃参数。尤其对一些专用场合,少量参数已经能够反映出检测对象的某些规律,参数式仪器也能够满足使用要求,而且快速、简捷、实用和价廉。所以声发射检测系统今后将朝着两个方向发展:一个方向是向多通道全波形软件分析功能齐全的大系统发展,这类仪器可以应用到一些复杂场合和各种研究领域;另一个方向是发展实用价廉的参数式仪器,它可以应用到一些特定的场合,作为专门仪器去使用。当然这些参数不仅仅是传统意义上的那些参数,可以利用 AE 信号合理的信息,去选取更能反映事物本质特征的特征参数。尤其是 FPGA/ CPLD 技术和计算机总线(PCI 总线)技术的发展,可以在一块板上实现上百通道的声发射参数提取并进行定位,与功能齐全的全波形采集相比,该系统成本低廉、集成度更高。

## 2 声发射仪器的发展过程及现状

人们对声发射的认识随理论研究的发展而加深。声发射作为实用诊断技术,它每前进一步都是同测试仪器的发展分不开的。声发射检测系统一般由传感器、信号调理放大器和分析处理系统三个基本部分组成,AE 仪器的发展也集中表现在这三个部分上。近几十年来,这三部分的性能都在不断更新,特别是 AE 传感器和分析处理系统的发展。下文将从硬件性能和软件功能两个方面对声发射仪器的发展过程进行简述。

### 2.1 硬件性能

自 1965 年美国的 Dunegan 公司首次推出声发射商业仪器以来,声发射的硬件技术已经历三十多年的更新发展。从具有代表性的技术更新来看,这三十多年主要分为三个阶段。第一阶段 1965 年~1983 年,这一阶段主要是参数式声发射仪器的发展。这其中包括声发射传感器、前置放大器、模拟滤波技术以及参数提取的硬件技术等的完善与发展。这些仪器进行声发射参数提取时,是通过模拟电路输出模拟参量,然后通过后续电路的 A/D 或计数器转换为数字参量来实现的。这种声发射仪的特点是采集数据的信息比较直观,给后续的数据处理带来很多方便,但由于系统完全采用模拟电路来获取声发射信号特征参数,采集系统的抗干扰能力不强,可靠性差,集成度低。由于各个通道的信号采集、传递、计算、存储和显示都要占中央处理单元的时间,不但速度慢而且系统极易出现闭锁状态。这种早期的声发射仪现在已逐步淘汰

自 1983 年至 1994 年是声发射仪器发展的第二阶段,以美国物理声学公司(PAC)1983 年开发

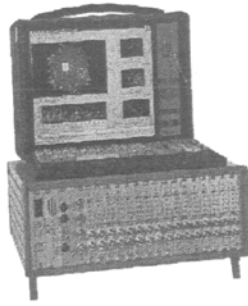
国际上第一套参数型声发射系统 SPARTAN-AT 为代表。该系统采用专用模块组合式，第一次引入了计算机技术，把采集功能、存储及计算功能相分离，并且利用 IEEE488 标准总线 and 利用并行处理技术解决实时采集和数据处理。这类仪器实际上，每二个通道形成一个单元，配有专用微处理器，形成独立通道控制单元(ICC)，完成实时数据采集的任务，而数据处理的任务比较合理地分配给一些并行的计算单元，仪器的实时性得到增强。该仪器是模拟和数字电路结合的模式，使得声发射仪的可靠性大大提高，由此也推动了声发射应用技术的发展，使得声发射在许多领域，如压力容器、油罐、管道、复合材料、航空、航天、建筑、桥梁等的应用也由起步阶段发展到了完善阶段，许多国家颁布了声发射在特定检测领域的国家标准。

1994 年至今，全数字式声发射仪器的问世可以说是声发射仪器发展的第三个阶段。数字化仪器是在高速 A/D 转换及有关集成电路(IC)芯片性能大幅度提高，价格又大幅度下降的背景下形成的。全数字化 AE 仪器的问世标志着声发射仪器的研制进入一个全新的阶段，它在系统结构和软件配置上保留了第四代产品的优点，但放大后的 AE 信号不必再经过一系列的模拟、数字电路形成数字特征量，而是直接进行高速 A/D 转换，提取相应特征量。这样做的好处是数字信号有良好的抗干扰特性，信息能够准确地发送、传递而无畸变，没有模拟器件因存在噪声或饱和带来的失真以及因器件离散等因素产生的数据不一致，从而使仪器的可靠性得到更好的保证。采用数字技术使这类仪器有很高的信噪比、良好的抗干扰性、宽的动态范围。另外，由数字化的 AE 信号中提取特征量比模拟方法容易实现，如采用模拟方法很难在严格的意义上给出 AE 信号的能量和有效值，而在数字信号的基础上却容易实现。数字化后的信号保留了更多的 AE 信息，也为信号分析和特征提取提供更大的开发潜力。同时，这类仪器对数字信号的处理如特征提取要比一般模拟仪器更加容易，而且也可给用户留下适合各自应用的处理软件的空间。

全数字式声发射仪的代表仪器有德国 VALLEN 公司的 AMSY5<sup>[1]</sup>，美国 PAC 公司研制的 Mistras2001<sup>[2]</sup>和我国广州声华科技有限公司的 WAE2002<sup>[3]</sup>等。其中德国的 AMSY5 仪器采用专用模块组合式，即通道模块与计算机部分组合于一个工业机箱中，整个系统由计算机控制。该系统模块之间的通讯、模块与计算机的通讯使用了特殊设计的总线，瞬态波形采集时可将一个 TR-4M（存储 8MB 波形）的瞬态波形记录模块配置到数据采集板上，与传统的声发射参数并行运行。

美国 PAC 公司的 Mistars2001 是采用全数字式集成有数字信号处理芯片的声发射 PC 卡 AEDSP32/16。该卡具有两个独立 AD 的声发射信号通道、一个 DSP 芯片、5 个 FPGA 门阵列，可以象一般的 PC 卡一样直接插入个人计算机中，多块 AEDSP 卡再配以适当的软件就构成了多通道声发射系统。该系统声发射参数是在 AEDSP 卡中经过数据处理获得的，而波形数据的存储需另一专用数据存储卡，AEDSP 卡采集到的数据先传输到专用卡的缓冲区内，后经 PCI/ISA 总线传输声发射数据到存储介质中。

我国 90 年代末，广州声华科技有限公司生产出了一种所有通道都能采集参数和波形的声发射检测系统，仪器采用插卡结构，各通道声发射信号通过信号调理后进入声发射采集卡（每卡 5 个通道），经信号的匹配后进行 16 位 A/D 转换，转换后的数字信号进入一片超大规模 FPGA 门阵列芯片以实时提取声发射参数和波形数据缓存。所有参数和波形数据经 PCI 总线用 DMA 方式传送到计算机。计算机通过信号分析软件完成声发射信号分析、定位等功能，最终把结果显示出来。多块声发射采集卡可以构成多通道的声发射检测系统。该仪器的特点是：1. 波形数据不是采用大容量存储器缓存后到上位机，而是采用相对容量小缓存实时连续通过 PCI 总线高速通讯到上位机；2. 由于多通道多功能（波形和参数采集提取通讯）只采用一片超大规模 FPGA 芯片，使得采集卡的集成度更高，稳定性和可靠性更高。该全数字全波形声发射仪最大限度地应用了现代电子和计算机高速数据采集和高速软件处理的技术，使得多通道声发射波形采集和分析不再困难，同时保留了参数声发射仪的全部功能，为声发射技术研究和应用提供了良好的工具。



(a)PAC Mistras 2001 声发射仪 (b) 德国 Vallen AMSY5 声发射仪(c) 广州声华 WAE2002 声发射仪

## 2.2 软件功能

如前节所述，声发射检测系统从硬件上已经发生了质的变化，能够对多通道实现全部波形的采集，接下来就是要对这些信号进行分析和处理，即系统的软件功能。声发射技术能获得了多领域的广泛应用，也主要取决于各种软件的使用和特殊功能的实现。好的软件能让我们应用起来更为得心应手，而且可以获得更准确的关于声发射源的定性、定量和定位信息，以及最终对这些信息所做的评价。声发射仪器的软件环境也从最初的纯 DOS 环境过渡到 windows 环境下的 DOS 模式，直至现在在大部分公司采用的 windows 32 位消息循环机制下的标准图形界面，操作也更加灵活方便。

多通道声发射系统的软件处理功能从应用的角度来说可分为两大类：

第一类为基本的通用声发射测试与分析处理功能，如软、硬件参数设置，视图的设置、显示、打印，数据分析、存储、滤波、回放，波形、参数及定位的对应分析等。声发射源定位是一个非常重要的功能，声发射源定位能力即定位的准确性是该技术有别于其它技术的一大特色，也是看一套声发射系统功能是否强大的重要标志之一。声发射源定位不需要用扫描的方式(如超声或磁粉检测)来测试缺陷的位置，大大提高了无损检测的效率。目前实现定位功能的方法很多，如区域定位、线性定位、平面定位、曲面定位及三维定位等。

第二类为专用的面向特定对象的测试与分析功能，主要是由现场应用专家与仪器生产厂家共同开发的专家系统软件包。近年来，国内外从事声发射检测技术应用研究的机构加大了对声发射信号处理方法的研究，纷纷推出各自的声发射信号分析处理软件，为广大用户分析声发射信号带来极大的方便。例如，PAC 公司开发研制出可用于复杂问题、复杂情况。复杂环境的神经网络与模式识别软件 NOESIS。Vallen 公司的 VisualClass 模式识别和信号分类软件，能通过监督或不监督学习进行声发射信号的组合分类及统计分析。广州声华公司 (Soundwel) 的 SignalProcess 软件，提供了各种谱分析手段以及小波变换处理，并能进行人工神经网络的声发射源模式识别，为声发射源的定性提供了强大的软件支持。

## 3 声发射仪器的最新进展

当今世界是电子和信息产业高速发展的时代，新的超大规模集成器件不断涌现，声发射仪器的更新速度也在逐步加快，各仪器的生产商都在尽力将最新的科技成果引入自己的产品。总体来看，声发射仪器发展体现出以下几个特点：

### 3.1 硬件方面

- **全数字、全波形：**系统的结构为全数字式构造，性能更稳定、可靠性更高。所有通道能同时实时采集参数和波形，全波形的采集能给用户提供更多关于声发射源的信息。信号调理滤波部分采

用可编程的数字滤波器（如采用 FPGA 实现）。

- **高速采集、传输：**每个声发射通道应能保证参数不丢失，在声发射信号频度极高的情况下，也尽量少地丢失波形信号。传输速率应充分利用计算机的总线速度，充分发挥计算机的性能，并能随着计算机的性能的升级而得到提升，使得声发射仪器可以随计算机的升级而随意升级成为现实。。
- **良好的可扩展性：**基于计算机的插卡式结构设计，符合现代仪器设计的主流思想，不仅通用性好，而且系统易扩展，用户可选插不同数目的采集卡，组成任意的多通道采集系统，而多台声发射仪器连接起来可以组成一个更大型的声发射检测系统。
- **应用方便：**从硬件上说方便用户使用，其发展主要体现在四个方面，一、系统的集成度高，紧凑轻便，现场搬运摆放容易；二、能自动对安装的各个通道在任意需要的时刻进行标定；三、采用无线通讯技术，减少传输电缆的安装和运输；四、抗干扰能力强，能适应现场复杂的检测环境。

### 3.2 软件功能

- **良好的人机界面：**声发射仪器的驱动程序能适应不同的操作系统，软件界面和环境能随着操作系统的发展而发展。也就是说，现代声发射仪器不仅从硬件上借助计算机行业的发展提升其性能，而且能随着软件技术的发展，尤其是操作系统的发展，体现出更人性化和方便实用的人机界面。
- **视图设置灵活：**在显示视图上，用户能随意设置自己感兴趣的关联图、定位图、统计图和分析结果，并支持 2D、3D 图形显示和入视点的变化。
- **定位方式多样、准确：**在定位方式要能进行区域定位、衰减定位、时差定位（包括相关法时差），在应用上通常应包括：线性定位、平面定位、柱面定位、曲面定位（球面定位）、三维空间定位等并能任意组合。定位的准确性是衡量一个声发射仪器软硬件性能的一项综合指标，仪器能根据所接收到的波形进行智能分析定位。
- **信号处理手段齐全：**仪器根据所采集到的参数和波形进行各种加窗傅立叶变换和小波变换，并根据分析的结果提取声发射信号的特征进行分类识别。达到对声发射源定性、定量、定位分析的目的，并能最终实现自动评价。

## 4 结论

声发射检测仪器本身是一个复杂的系统，它的发展过程集中体现了当今电子、计算机和信号处理等技术的进步。声发射仪器也从最初的模拟仪器DOS界面，发展到现在的全波形、全数字图形界面。仪器的体积、操作的复杂程度和劳动强度在不断减小，而可靠性和稳定性不断提高。同时针对不同应用场合的信号处理手段也在不断完善，对声发射源的定性、定量和定位识别的精度也有了很大的提高。声发射仪器最终的发展目标是对被测对象做出科学的无损评价，并能给出解决方案。

### 参考文献

- [1] Operational manual of AMSY5. Vallen Systeme GmbH. Schaftlarnner Weg 26, D-82057 Icking (Munich).2002
- [2] Operational manual of MISTRAS, Physics Acoustic Corporation. Princeton, NJ 08543-3135, USA, 1999
- [3] WAE2002声发射检测系统操作手册. 广州声华科技有限公司. 广州, 中国, 2003
- [4] 耿荣生, 沈功田, 刘时风. 声发射信号处理和分析技术. 无损检测. 2002, 24 (1): 23-28
- [5] Progressing in Acoustic Emission. 15<sup>th</sup> IAES & 6<sup>th</sup> AEW. Rome, Italy. 2000
- [6] 耿荣生. 声发射技术发展现状—学会成立 20 周年回顾. 无损检测. 1998, 20(6), 151-154

# The Research Progressing In Acoustic Emission Instrument

Liu Shifeng Li Guanghai

(Dept of Mechanical Engineering , Tsinghua University, Beijing 100084 , China)

**Abstract** The development history of acoustic emission (AE) instruments is outlined. The research progresses and characteristics of some mainly AE instruments are briefly introduced. Some developing tendency of the software and hardware of AE instruments is also described.

**Key words** acoustic emission test instrument, hardware, software, research progressing